

Mot utslippsfri undergrunns infrastruktur: Utfordringer og muligheter innen bærekraftig tunneldrift



Omar K. Sabri, Førstelektor, IBM, NTNU

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser krever mer enn politiske påbud. Ved hjelp av livsløpsanalyser (LCA) undersøkes utfordringer og muligheter ved elektrifisering av maskinparken og reduksjon av det enorme klimaavtrykket fra betong og stål i norsk tunneldrift.



INNLEDNING: SATSINGEN PÅ EN UTSLIPPSFRI ANLEGGSSSEKTOR

Bygge- og anleggssektoren står for en betydelig del av de globale klimagassutslippene. I Norge utgjør de direkte utslippene fra denne bransjen rundt 3,4 % av det nasjonale totale utslippet. Hvis vi også tar med indirekte utslipp fra materialer og energibruk, stiger denne andelen til 15 % (Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk nr. 30, 2022). For å nå internasjonale klimaavtaler som Parisavtalen, går anleggsbransjen nå gjennom en rask

omstilling i retning av mer bærekraftig praksis (Øyehaug, 2022; Wiik mfl., 2021).

Regionale politiske mål og krav i offentlige anskaffelser er de viktigste driverne for denne endringen. Oslo kommune har vært en pioner på dette feltet, og satte et strengt mål om at alle kommunens egne bygge- og anleggsplasser skal være helt utslippsfrie innen 2025 (Bakketeig mfl., 2018). Andre store norske byer, som Bergen, Trondheim, Tromsø og Stavanger, har signert erklæringer med lignende ambisjoner (Wiik mfl., 2022). På nasjonalt nivå har den norske regjeringen innført et krav om at klima- og miljøkriterier skal vektes med minimum 30 % i offentlige anskaffelser (Høyli mfl., 2023). Dette flytter

bransjens fokus fra utelukkende laveste pris til en mer bærekraftig gjennomføring.

Å skape en utslippsfri infrastruktur - spesielt i komplekse undergrunnsprosjekter som tunneler - krever imidlertid mer enn bare politiske påbud. Direkte eksosutslipp er bare en del av problemet. Et genuint bærekraftig tunnelprosjekt krever en helhetlig tilnærming som kombinerer elektrifisering av tunge maskiner, nøyaktige livsløpsanalyser (LCA) og strukturell optimalisering av karbonintensive materialer (Øyehaug, 2022).



ELEKTRIFISERING OG DEN MODERNE MASKINPARKEN

En sentral strategi for å oppnå utslippsfrie anleggsplasser er overgangen fra forbrenningsmotorer til elektriske anleggsmaskiner. Historisk sett har fossilt brennstoff som diesel drevet det aller meste av transport og graving, og stått for opptil 95 % av de direkte utslippene i anleggsfasen (Wiik mfl., 2022).

Denne overgangen følger vanligvis et fastlagt hierarki: først redusere det generelle drivstofforbruket, deretter bytte til fossilfrie alternativer, og til slutt gå over til helt utslippsfrie løsninger (Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk nr. 30, 2022). Hydrert vegetabilsk olje (HVO) fungerer som et overgangstrinn som kan redusere klimagassutslippene med rundt 21 % sammenlignet med vanlig diesel, men det gir fortsatt lokale eksosutslipp (Bakketeig mfl., 2018). Helelektriske maskiner kan deretter redusere det direkte klimaavtrykket med 92 % og i tillegg senke de operative energikostnadene drastisk (Norbotn mfl., 2021).

Elektrifisering gir også store fordeler for helse, miljø og sikkerhet (HMS) på arbeidsplassen, samt for den sosiale bærekraften. Elektriske maskiner fjerner lokal eksosluft og luftforurensning, samtidig som de reduserer støy og vibrasjoner kraftig (Wiik mfl., 2021). Dette forbedrer arbeidsmiljøet, minsker fysisk stress og gjør det langt lettere og sikrere for arbeiderne å snakke sammen på anlegget (Huymajer mfl., 2022). Det er verdt å merke seg at den kraftige reduksjonen i maskinstøy har skapt en ny sikkerhetsutfordring: Arbeidere hører kanskje ikke at maskiner nærmer seg i trange omgivelser som tunnelsjakter. Dette krever oppdaterte sikkerhetsrutiner (Wiik mfl., 2021).

Mens mindre elektrisk utstyr (under 8 tonn) er lett tilgjengelig og i utstrakt bruk, er markedet for tunge elektriske anleggsmaskiner fortsatt under utvikling (Wiik mfl., 2022). I tunge tunneloperasjoner, som krever kontinuerlig graving og massetransport, kan batterikapasiteten begrense hvor lenge maskinene kan kjøre av gangen. Derfor må tunge maskiner ofte være tilkoblet kabel, noe som kan redusere mobiliteten deres i et dynamisk tunnelmiljø som hele tiden endrer seg.



STRØMNETT OG INFRASTRUKTURUTFORDRINGER

Når diesel byttes ut med elektrisitet, flyttes energibelastningen direkte over på det lokale strømnettet. I store infrastrukturprosjekter blir nettkapasitet ofte trukket fram som den største barrieren for full elektrifisering (Bakketeig mfl., 2018). Tunge maskiner krever svært høy topplast når de skal lades, spesielt

når flere gravemaskiner og dumpere må lade samtidig (Bakketeig mfl., 2018).

Denne utfordringen er spesielt stor i regioner som Nord-Norge, eller i distriktsprosjekter der strømmettet kan være underdimensjonert eller det er lange avstander mellom tilkoblingspunktene (Høyli mfl., 2023). Ofte starter det tunge gravearbeidet helt i begynnelsen av prosjektet, før permanente oppgraderinger av strømmettet er på plass. Dette tvinger entreprenører til å bruke midlertidige og mindre bærekraftige strømløsninger (Wiik mfl., 2022).

For å løse disse utfordringene er det helt avgjørende med tidlig dialog med det lokale nettselskapet (Høyli mfl., 2023). Entreprenører og byggherrer må samarbeide om detaljert energi- og kraftplanlegging tidlig i innkjøpsfasen for å sikre god nok ladeinfrastruktur og unngå dyre forsinkelser i prosjektet (Wiik mfl., 2021). Når kapasiteten i det lokale nettet ikke strekker til, må man ta i bruk teknologiske løsninger. Mobile battericontainere, eller "powerbanker", blir i økende grad brukt for å flate ut toppbelastninger, lagre energi i perioder med lavt forbruk, og gi fleksibel lading uten at det lokale strømmettet overbelastes (Norbotn mfl., 2021). I tillegg kreves det nøye logistikkplanlegging, som for eksempel å bruke faste lunsjpauser til hurtiglading og planlegge spesielt energikrevende oppgaver etter hverandre for å holde produktiviteten oppe (Bakketeig mfl., 2018).



REDUKSJON AV UTSLIPP FRA TUNNELMATERIALER OG PRAKSIS

Betong er det viktigste materialet å optimalisere i tunnelbygging på grunn av de enorme mengdene som kreves, og materialets høye CO₂-avtrykk (Gijzel mfl., 2019). Tradisjonell sementproduksjon er en svært energikrevende prosess som slipper ut store mengder CO₂ direkte i atmosfæren (Koo mfl., 2009).

En praktisk teknisk løsning er å stille strenge krav til lavkarbonbetong. Ved å gå over fra standard Portland-sement (CEM I) til blandingssementer (CEM II/A eller CEM II/B) – som inneholder tilleggsmaterialer som flyveaske eller slag – kan man oppnå store utslippskutt (Sønsterud & Graneng, 2022). LCA-data viser at ved å kreve CEM II/A eller CEM II/B til tunnelhvelv, sprøytebetong og plasstøpte konstruksjoner, kan man kutte de betongrelaterte utslippene med opptil 27 % i et typisk tunnelprosjekt (Øyehaug, 2022).

Strukturell optimalisering og alternative materialer spiller også en viktig rolle. Ved å bruke betong med høyere fasthetsklasse kan man redusere tykkelsen på tunnelhvelvet. Dette minsker det totale volumet av råmaterialer som trengs, og reduserer dermed også behovet for utgraving (Huymajer mfl., 2022). I tillegg har nye løsninger, som å bruke polyolefinfiberarmert betong i stedet for tradisjonell stålarmering, vist seg å gi bedre resultater for både miljø, økonomi og HMS ved å forenkle selve byggeprosessen (Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk nr. 30, 2022).

Stål er en annen stor utslippskilde, og brukes primært i sikringsbolter, nett og tradisjonell armering (Øyehaug, 2022). Selv om den globale stålindustrien utvikler ny teknologi som karbonfangst og -lagring (CCS) og bruker mer resirkulert skrap, kan rådgivende ingeniører kutte utslipp umiddelbart ved å

kreve miljødeklarasjoner (EPD) i innkjøpsfasen. Dette gjør det mulig å velge leverandører som har dokumentert de laveste utslippene (Mattinzioli mfl., 2020).

Til slutt gir håndteringen av utsprenge steinmasser en stor driftsmessig mulighet for utslippskutt. Tunneldrift skaper enorme mengder stein (Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk nr. 30, 2022). Tradisjonelt medfører transport av disse massene til fjerntliggende deponier omfattende tungtransport, noe som fører til betydelige klimagassutslipp (Qiu mfl., 2020). Ved å gjenbruke de utsprenge steinmassene lokalt, for eksempel som pukk til vegbygging eller som fyllmasser, kan transportavstandene og de tilhørende utslippene reduseres betydelig, samtidig som prinsippene for en sirkulær økonomi støttes (Huymajer mfl.,

2022). Dette krever imidlertid tett oppfølging og kartlegging av massenes kjemiske og geotekniske egenskaper for å sikre at de er trygge og egnet for gjenbruk (Suprayoga mfl., 2020).

En god måte å forstå bærekraftig tunneldrift på er å se det som en kombinasjon av flere gjensidig avhengige tiltak. Elektrifisering kutter de direkte utslippene fra maskinene, mens lavkarbonmaterialer og bedre massehåndtering reduserer prosjektets bredere klimaavtrykk. Figur 1 oppsummerer disse hovedtiltakene og viser hvordan de henger sammen med målet om utslippsfrie anleggsplasser i norsk tunneldrift.



Figur 1. Viktige tiltak for bærekraftig tunneldrift og utslippsfrie anleggsplasser i Norge.

Figur 1 understreker at bærekraftig tunneldrift ikke kan oppnås gjennom ett enkelt tiltak alene. Elektriske maskiner kutter direkte utslipp fra driften, men dette krever god nettkapasitet og tidlig planlegging av strømforsyningen. Samtidig kommer en stor del av klimaavtrykket fra materialer som betong, stål, asfalt, sprengstoff, transport og maskiner. Det betyr at man må tenke livsløp (LCA) for å identifisere hvor de største kuttene kan tas.

Figuren viser også betydningen av sirkulær massehåndtering. Lokal gjenbruk av utsprenge steinmasser kan redusere transportbehovet, avfallsmengden og etterspørselen etter nye råmaterialer. I tillegg kan utslippsfrie maskiner forbedre arbeidsmiljøet ved å redusere støy og lokale eksosutslipp. Samlet viser disse tiltakene at bærekraftig tunneldrift avhenger av samordnede beslutninger innen anskaffelser, prosjektering, logistikk og anleggsgjennomføring.



KONKLUSJON: INTEGRERING AV BÆREKRAFT I FREMTIDIGE PROSJEKTER

Overgangen mot en utslippsfri undergrunnsinfrastruktur er godt i gang, men den krever en grunnleggende endring i hvordan sivilingeniørprosjekter planlegges og gjennomføres. Regionale mål og strenge offentlige innkjøpskriterier i Norge har satt fart på innføringen av elektriske maskiner, og bevisst at utslippsfrie anleggsplasser er teknologisk fullt mulig (Wiik mfl., 2021).

Likevel krever ekte bærekraft i tunneldrift en flerdimensjonal tilnærming. Å elektrifisere maskinparken fjerner de direkte

eksosutslippene og forbedrer arbeidsmiljøet markant, men det bringer med seg komplekse logistiske utfordringer knyttet til nettkapasitet og ladeinfrastruktur (Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk nr. 30, 2022). Samtidig viser livsløpsanalyser (LCA) tydelig at de innebygde utslippene i materialer, spesielt betong og stål, utgjør den største delen av en tunnels totale miljøavtrykk (Grofelnik & Kovačić, 2023).

Fremtidige infrastrukturprosjekter må derfor integrere disse elementene allerede fra de tidlige prosjekteringsfasene. Ingeniører og anleggsledere må koordinere med lokale nettselskaper for å sikre tilstrekkelig krafttilgang, bruke LCA-verktøy for å spesifisere lavkarbonbetong og lavutslippsstål, og optimalisere logistikken på anleggsplassen for å legge til rette for lokal gjenbruk av utsprenge steinmasser (Huymajer mfl., 2022; Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk nr. 30, 2022). Ved å kombinere utslippsfrie maskiner med optimaliserte materialvalg kan anleggsbransjen redusere utfordringene knyttet til bærekraftig tunneldrift og begrense sine samlede klimagassutslipp betydelig.

Kilder:

Bakketeig, E., Johansen, V. S., Steinberg, L. K., & Schoder, B. L. A. (2018). *Fossilfri anleggsplass: Prosjektet undersøker hvilke muligheter som finnes for å realisere anleggsvirksomhet uten bruk av fossilt drivstoff*. Faculty of Engineering and Science, University of Agder.

Grofelnik, H., & Kovačić, N. (2023). Factors Influencing the Carbon Footprint of Major Road Infrastructure - A Case Study of the Učka Tunnel. *Sustainability*, 15(5), 4461–4461. <https://doi.org/10.3390/su15054461>

Huymajer, M., Woegerbauer, M., Winkler, L., Mazak-Huemer, A., & Biedermann, H. (2022).

An Interdisciplinary Systematic Review on Sustainability in Tunneling - Bibliometrics, Challenges, and Solutions. *Sustainability*, 14(4), 2275–2275.

<https://doi.org/10.3390/su14042275>

Høyli, R., Homaei, S., & Wiik, M. K. (2023). Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i Nord-Norge: Kartlegging av barrierer og suksesskriterier (SINTEF Notat 49). SINTEF akademisk forlag.

Koo, D.-H., Ariaratnam, S. T., & Kavazanjian, E. (2009). Development of a sustainability assessment model for underground infrastructure projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(5), 765–776.

<https://doi.org/10.1139/l09-024>

Lervåg, L.-E., Thomassen, M. K., & Kristensen, T. (2022). Utslippsfrie anleggsplasser: Etablering av felles evalueringsmetodikk og evaluering av pilotprosjekter (SINTEF Rapport 2022:01397). SINTEF.

Norbotn, A. B., Grønvold, K. S., & Skjerve, P. (2021). *Reduksjon av klimaavtrykk fra entreprenørselskaper: Reduction of climate footprint from contracting companies*. Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology.

Norwegian Tunnelling Society No. 30. (2022). Sustainability in Norwegian tunnelling (Publication No. 30). Norsk forening for fjellsprenningsteknikk (NFF).

Qiu, W., Liu, Y., Lu, F., & Huang, G. (2020). Establishing a sustainable evaluation indicator system for railway tunnel in China. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122150–122150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122150>

Suprayoga, G. B., Bakker, M., Witte, P., & Spit, T. (2020). A systematic review of indicators to

assess the sustainability of road infrastructure projects. *European Transport Research Review*, 12(1).

<https://doi.org/10.1186/s12544-020-0400-6>

Sønsterud, C., & Graneng, F. (2022). *Bærekraftig tunneldriving - Miljøregnskap for stabilitetssikring og maskinbruk i tunnel*. Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology.

Wiik, M. K., Fjellheim, K., & Gjersvik, R. (2021). *Erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser* (SINTEF Fag 86). SINTEF akademisk forlag.

Wiik, M. K., Fjellheim, K., & Gjersvik, R. (2022). Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser: Veikart (SINTEF Notat 44). SINTEF akademisk forlag.

Øyehaug, A. (2022). *Emission profile of Norwegian county roads: A LCA case study of 49 infrastructure projects built by Trøndelag Fylkeskommune in the years 2010–2022*. Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology.